心理学报 2021, Vol. 53, No. 9, 933−943
Acta Psychologica Sinica

https://doi.org/10.3724/SP.J.1041.2021.00933

神经重用假说的汉语情绪词汇加工证据*

孙天义[1] 郝晓晓[2] 何安明[1] 王财玉[1] 许远理[1] 郭春彦[3] 周 蔚[3]

([1]信阳师范学院教育科学学院, 河南 信阳 464000) ([2]郑州理工职业学院, 郑州 451100)
([3]首都师范大学心理学院, 北京 100048)

摘 要 神经重用假说认为对词的情绪效应可以不经语义形成而先行产生, 这更有助于人类适应环境。为了检验这一假说, 设计脑电实验和行为实验, 记录被试加工汉语厌恶情绪词和中性词的特征。结果发现, 170 ms 左右厌恶词与中性词的 ERPs 发生分离, 且在枕部出现情绪刺激视觉注意关联的 EPN; 厌恶词与中性词 N400 差异波溯源定位于脑岛附近, 其最大激活点时间窗口开始于 380 ms。这表明在情绪词汇的语义分析之前就出现了情绪效应, 结果支持了神经重用假说。

关键词 词汇, 厌恶, 神经重用假说, ERP

分类号 B842

1 引言

语言是人类最重要的交流工具, 而词汇是构成语言的基本单元。词不仅是抽象的语言符号, 它还能唤起人的思想、感情和行为(Niedenthal, 2007)。因此, 对词汇的识别与加工研究显得尤为重要, 它也是语言研究的热点问题之一。根据情绪性, 词汇可分为情绪词和中性词。其中的情绪词汇可以表达两方面的信息, 一方面是概念意义, 即包含的语义信息; 另一方面是情绪意义, 即传递着一定的感情(Liu et al., 2010)。并且它是情绪与认知的完美结合, 为研究情绪信息和语言加工的关系提供了便利。

对于阅读时词汇的情绪加工过程, 可用两种理论观点进行解释, 即标准心理语言学观点(standard psycholinguistic perspective)和神经重用观点(neural re-use perspective)。虽然两种观点都认为情绪词加工包含了阅读和情绪两个认知过程, 但对这两个过程的时间进程的认识似乎是相对立的。标准心理语言学观点认为, 在阅读情绪词时, 首先是加工词汇的视觉特征和正字法单元, 进而通达到词典, 之后是抽象语义的激活, 然后才能产生相应的情绪(Dehaene et al., 2005)。其对应的神经机制是, 情绪词汇的加工在早期主要发生于经典阅读网络, 包括负责词形、语音和语义加工的左侧颞枕皮层下部、侧颞皮层和额下回等脑区。在加工的晚期才激活情绪相关的脑区, 包括杏仁核、脑岛等。且阅读网络和情绪网络是相互独立的(Dehaene et al., 2005; Isenberg et al., 1999)。而神经重用观点则假设, 加工各种情绪信息刺激(如情绪面孔、情绪图片等)的大脑区域, 可能也负责词汇的情绪信息加工(Anderson, 2007; Anderson, 2010; Dehaene & Cohen, 2007)。即情绪词汇在早期也激活经典阅读网络之外的大脑区域(如杏仁核、脑岛、前额皮质), 它可以直接通达情绪, 甚至发生在深度语义加工之前。该假说认为, 这是因为新习得的认知功能(比如语言)并不是形成了全新的神经网络, 而是来自于那些“古老的(ancient)”神经成分(如感知觉, 注意, 情绪和记忆系统)所形成的新联结, 使得这些“古老的”成分可以在早期参与到其他认知功能相关(比如情绪词)的加工过程。即神经回路在进化过程中或正常的发育过程中, 可用于不同的用途。由此可以看出, 这两种观点的争议是: 对词的情绪加工效应

收稿日期: 2019-10-17
* 河南省科技发展计划项目(202400410143)和信阳师范学院“南湖学者奖励计划”青年项目资助。
通信作者: 周蔚, E-mail: zhouwei@cnu.edu.cn

是否发生在相对早期的阶段，同时伴有情绪相关脑区的参与。

事件相关电位(Event-related potential, ERP)技术因其高时间分辨率而被广泛应用于词汇加工进程的研究。Grainger 和 Holcomb (2009)基于 10 年的 ERP 研究提出一个视觉词汇识别模型，总结了词汇加工的各阶段及可能出现的脑电成分。具体的，词汇加工从视觉呈现开始，大约 100 ms 左右是特征(Feature)识别，对应的脑电成分为 N/P150 (反映某一领域非特定性的加工，如字母、字符串、客体图片等)。约 200 ms 后是正字法单元(Orthographic units)加工，相应的脑电成分是 N250 (反映了视觉的特定单词加工)。接着是单词(Words)加工，在 300 ms 后，对应脑电成分为 P325 (反映了词汇系统本身的加工)。约 400 ms 是语义(Semantic units)的相关加工，且 N400 有两个子成分，早期阶段词的 N400 (N400w, w for word)，反映单词和概念水平加工之间的交互；后期阶段概念到概念的 N400 (N400c, c for concept)，反映概念对概念的加工(支持更高层次的句子和语篇加工)。这个模型为检验词汇的情绪加工进程提供参考，即如果对词的情绪加工遵循标准心理语言学观点，那么情绪词加工的早期脑电波和中性词加工的早期脑电波在语义激活之前是没有差异的。

以往的 ERP 研究对阅读中情绪信息加工的时间进程提供了一些参考，包括文字的早期和晚期情绪效应(Citron, 2012)。例如，已有实验发现了早期后部负波(the early posterior negativity, EPN)，它可能反映了视觉注意对情绪词汇的初期分配(Herbert et al., 2008)；语义 N400 成分，也受情绪的影响(Herbert et al., 2008; Kanske & Kotz, 2007)；还有后部晚正成分(the late posterior positivity, LPP)，它可能反映了更深层次的信息整合过程(Bayer et al., 2010; Fischler & Bradley, 2006; Kanske & Kotz, 2007; Schacht & Sommer, 2009a, 2009b)。最早探索对词的情绪反应和对词的语义加工间关系的是 Ponz 等人(2013)的研究，他们借助 ERP 技术，采用 Go/No Go 实验范式，以表音文字的法语厌恶相关情绪词和中性词为刺激，结合头皮脑电(17 名正常被试，母语为法语；组分析)和颅内脑电(2 名癫痫病患者，母语为法语；个案分析)考察了阅读过程中厌恶词加工的时空特征，检验情绪词汇加工的理论。头皮脑电结果显示，在 200 ms 时，厌恶词和中性词对应的脑电波就出现差异，发生了分离。且 N400 差异波的溯源分析定位于前脑岛；两名癫痫病患者脑岛及眶额区部位植入电极的颅内数据证实了上述发现，即在 200 ms 时，两个电极显示出词汇的情绪效应。也就是说，情绪词如同情绪刺激一样被直接加工产生情绪效应。大脑(脑岛)对厌恶情绪词的这种早期情绪效应，显然挑战了一直以来的标准心理语言学观点。

Ponz 等人(2013)的研究发现，在加工表音文字的情绪词时，它们如同情绪刺激(如情绪面孔、情绪图片等)一样被直接加工。即直接由词汇到情绪产生，而不是经词汇到语义后再到情绪产生，支持了情绪词汇加工的神经重用假说。这对人类的发展与进化有重大意义，它有助于人类更好地适应环境。汉字(中文)是目前世界上使用人口最多的文字，是以象形字为基础发展而来的表意文字，其意义和图形紧密相连。大量证据支持了字形可以直接通达语义，即在某些情况下可以绕过语音中介(Chen & Shu, 2001; Meng et al., 2008; Zhou & Marslen-Wilson, 1999; Zhou et al., 2018)。那么这种表意文字的汉字，其情绪词汇加工过程是否适用神经重用假说呢？

尽管已经有相当数量的汉语情绪词汇的 ERP 研究，但这些研究主要关注不同加工阶段的脑电位差异。如内隐和外显记忆测验中情绪词差异的研究发现，在内隐提取阶段，消极词的 ERP 波形比积极词的 ERP 波形在晚期 450~900 ms 时程上更正，而在外显提取阶段，两者 ERPs 之间没有显著差异(李月婷 等, 2010)。也有研究者采用词汇判断任务，以效价(积极和消极)和唤醒度(低和高)作为变量，发现积极词相比消极词和中性词诱发更大的 N400 (300~410 ms)和 LPC (late positive component, 450~700 ms)波(Yao et al., 2016)。同样采用词汇判断任务，Luo 等人(2013)发现核心厌恶词相比中性词出现差异的 ERP 成分为早期 EPN、N320 成分和晚期 N400、LPC 成分，而道德厌恶词相比中性词出现差异的 ERP 成分为 N320 和 N400。几项采用快速序列视觉呈现任务探讨汉语情绪词(积极情绪词、消极情绪词、中性词)加工的脑电研究发现，情绪词的识别加工类似于表情处理的三阶段模型(Yi et al., 2015; Zhang et al., 2014; Zhao et al., 2018)。其中包含早期情绪效应的阶段，对应早期 N170 成分的差异。虽然已上研究缺乏针对其结果是否支持神经重用假说或标准语言假说的讨论，但一部分研究发现了早期情绪效应的 ERP 成分，如 EPN 和 N170 (Yi et al., 2015; Zhang et al., 2014; Zhao et al., 2018)，暗示了

神经重用理论的可能性。而另一部分研究未发现早期情绪效应的 ERP 成分(李月婷 等, 2010; Yi et al., 2015), 暗示了标准语言学假说的可能性。出现实验结果的不一致, 可能是由于这些研究所采用的任务和范式(如记忆、词汇判断任务或快速序列呈现范式)不同造成的。此外, 对情绪词未做细分, 而不同的原始情绪之间, 以及原始情绪与复合情绪所涉及的脑区不同。

为了解决实验任务可能带来的干扰, 本研究以表意汉字(包括非交通工具词汇: 厌恶词、中性词; 交通工具词汇)为刺激材料, 以母语为汉语的中国在校大学生为被试, 采用经典的 Go/No Go 实验范式, 应用 ERP 技术跟踪厌恶词和中性词加工时的脑电位。其中, 在 No Go 试次呈现厌恶词或中性词, 被试不做按键反应, 以便在情绪词和中性词的无意识识别过程中检验神经重用假说或标准语言学假说; 在 Go 试次, 呈现交通工具词汇, 被试做按键反应, 但不对 Go 试次进行分析。这里以厌恶词作为情绪词材料, 一是因为厌恶情绪是原始情绪, 对人类生存具有重要意义, 这种意义为情绪脑区被语言功能重用提供了前提; 二是因为厌恶情绪的加工有特定的脑区——前脑岛, 而前脑岛在大脑皮层的位置较浅, 便于电极记录电位。此外, 本实验还设计了一个行为实验为脑电结果提供佐证。如果基于电生理的时间进程证实表意的汉字如同表音的西方单词一样支持神经重用假说, 那么其外在行为反应上可能会出现词汇加工的“负性偏向(Negative Bias)”, 即厌恶词的加工快于中性词的加工。但由于脑电实验中厌恶词判断处于 No Go 试次, 无法记录对厌恶词反应的行为数据。因此, 设定行为实验任务为被试对非交通工具词做 Go 反应, 对交通工具词做 No Go 反应, 这样就可得到对厌恶词、中性词反应的行为数据。实验假设, 在电生理上, 如果厌恶词和中性词诱发的 EPN 等早期 ERPs 成分, 在时间上早于语义产生(N400 成分的时间, 约 400 ms 左右)对应的时间, 即情绪效应早于语义产生, 则一定程度上支持神经重用假说; 在行为上, 对厌恶词的反应可能比中性词的反应更快。

2　实验 1: 汉语厌恶情绪词加工的脑电位特征

采用 Go/No Go 实验范式, 利用 ERP 技术探究被试对厌恶词和中性词反应的脑电时空特征, 以检验情绪词汇加工的理论。

2.1　被试

被试为随机选取的 20 名中国在校大学生(母语为汉语, 女生 10 名), 所有被试都为右利手, 视力或矫正视力正常, 无色盲色弱, 听觉正常, 无精神病史。实验前被试获得知情同意书, 实验后给予被试一定的实验报酬。1 名女生被试因脑电数据去伪迹后接收次数过少(低于 20 次)而被排除, 19 名有效被试(女生 9 名, 平均年龄 19.95 ± 1.62 岁)的数据纳入分析。

2.2　实验材料

实验的刺激材料选自王一牛等人(2008)编制的汉语情感词系统和现代汉语词典。首先, 由 30 名中国在校本科生对粗选出来的 262 个词(128 个厌恶词、100 个中性词、34 个交通工具词)进行认同度初评, 并选出认同度在 75%以上的词 170 个, 其中厌恶词 70 个, 中性词 70 个, 交通工具词 30 个。然后, 由另外 30 名中国在校本科生对选出来的词从效价、唤醒度、形象性、熟悉性这几个维度进行李克特 5 点评分。最后, 对厌恶词和中性词进行匹配, 控制形象性、熟悉性两个维度的影响, 选取在效价和唤醒度上差异都显著的厌恶词和中性词(独立样本 *t* 检验, *ps* < 0.01)做为实验材料(Herbert et al., 2008; Kissler et al., 2007; Schacht & Sommer, 2009a), 包括 35 个厌恶词汇, 35 个中性词汇和 24 个交通工具词汇(见表 1), 使用软件把这 94 个词处理成大小为为 3.4 cm × 7.7 cm (高×宽)的图片。

表 1　词汇变量评分的平均数及标准差(*M*-平均值、*SD*-标准差)

变量	词的评分	
	厌恶词($M \pm SD$)	中性词($M \pm SD$)
效价	1.69 ± 0.22	3.31 ± 0.29
唤醒度	2.95 ± 0.35	2.41 ± 0.38
形象性	3.37 ± 0.49	3.74 ± 0.68
熟悉性	3.37 ± 0.64	3.81 ± 0.81

2.3　实验程序

采用 E-prime 2.0 软件编写实验程序。实验开始前先呈现指导语, 之后屏幕中央呈现注视点“+”, 持续时间在(400~600 ms)间随机, 接着是 250 ms 的空屏, 然后随机呈现 1 个词刺激, 持续时间为 1000 ms, 该序列(trial)结束。刺激间隔(inter stimulus interval, ISI)为 2500 ms, 之后进入下一个序列(实验流程如图 1)。词呈现后, 要求被试对交通工具词按键盘的“Y”键做反应(Go), 对非交通工具词则不

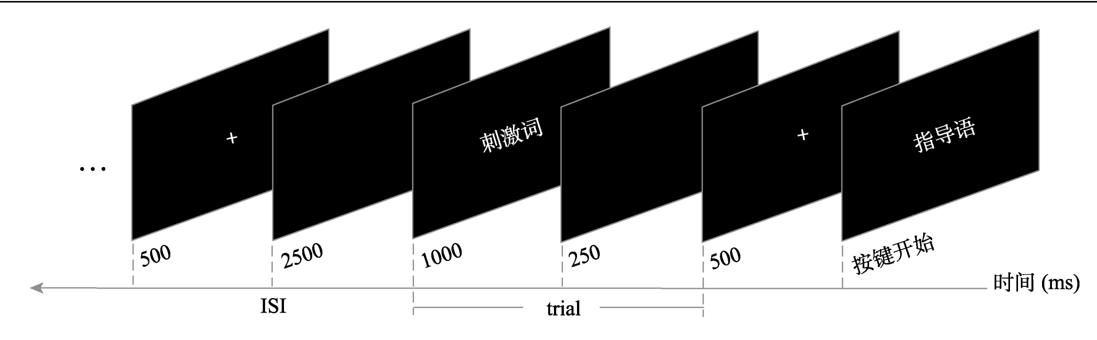


图 1 刺激呈现流程图

按键(No Go)。47 个 trials 构成 1 个 Block，共有 2 个 Block (其中 1 个 Block 含 17 个厌恶词、18 个中性词和 12 个交通工具词；另 1 个 Block 含 18 个厌恶词、17 个中性词和 12 个交通工具词)。在实验过程中，要求被试双眼与屏幕之间的距离大约为 80 cm，刺激材料的水平与垂直视角均小于 5°。并且要求被试在准确的基础上尽可能快做 Go 反应或 No Go 反应，一个 Block 结束后休息 2~3 分钟。在正式实验之前，被试做 10 个 trial 的练习。

2.4 EEG 记录和数据处理

使用 Neruoscan 系统、SynAmp2 放大器和 10-20 系统扩展的 64 导电极帽在线记录 EEG 信号。采集数据时，以左侧乳突(M1)作为参考电极，在后期进行离线分析时再转换为双侧乳突的平均作为参考。GND 电极接地，水平眼电(HEOG)和垂直眼电(VEOG)都采用双电极记录。其中，水平眼电的两个电极分别贴在左右眼外侧距离眼角 1 cm 左右的位置，垂直眼电的两个电极分别贴在左眼眶上下各 1 cm 的正中间位置。数据采集时，电极点的电阻值均保持在 5 kΩ以下，采样频率为 1000 Hz。对实验中记录到的脑电数据用 scan 4.5 软件进行离线分析，分析时程选择刺激呈现到 800 ms，–100~0 ms 作为基线。数字滤波带通为 0.05~40 Hz，采用±75 μV 标准去除伴有眨眼、眼动、肌电等伪迹的数据。

根据对电极位置与头皮分布的观察发现，在 170 ms 左右，厌恶词和中性词开始出现差异，大约 400 ms 有一个明显的负走向波(N400)。参照前人的相关研究(Kissler et al., 2007; Schacht & Sommer, 2009a)，对 ERP 早期成分，根据其波尖锐的特点，P100 峰值的时间窗口为 110~130 ms, EPN 峰值的时间窗口为 150~170 ms，分析脑区选择后部的左侧电极 O1、中线电极 Oz 和右侧电极 O2，统计方法为 2 (词汇类别：厌恶、中性) × 3 (脑区：左、中、右)的两因素被试内重复测量方差分析。观察 ERP 晚期波幅发现，由于大脑左右半球波形差别不明显(见图 2-a)，因此选取 5 个代表性的中线电极(FPz, Fz, Cz, Pz 和 Oz，代表从前到后的电极)进行统计分析，时间窗口为 300~500 ms (对应 N400 成分)和 500~700 ms (对应 P600 成分)，统计方法为 2 (词汇类别：厌恶、中性) × 5 (电极：FPz、Fz、Cz、Pz、Oz)的两因素被试内重复测量方差分析。采用 Brainstorm 软件(Tadel et al., 2011)对 P100、EPN、N400 及 P600 成分进行溯源分析，Loreta 电流密度法与偶极子拟合法在三壳球模型中重建两类词在不同时段的活动源。

数据分析均采用 SPSS (22.0)软件包，并选用 Greenhouse-Geisser 方法对 p 值进行校正。仅分析 No Go 试次，即比较在加工厌恶词和中性词时大脑活动的 ERP 特征。

2.5 结果

P100 和 EPN

P100、EPN 在相应脑区电极的平均电位如表 2 所示。方差分析结果显示，P100 的情绪词汇主效应、脑区主效应、情绪与脑区交互作用均不显著(ps > 0.1)；但在 EPN 成分上，情绪与脑区交互作用显著，$F(2, 36) = 7.20$, $p = 0.006$, $\eta_p^2 = 0.286$，进一步简单效应检验发现，在右半球 O2 脑区，厌恶词诱发的 EPN 波幅显著大于中性词诱发的 EPN 波幅(见图 2-a), $t(18) = 3.10$, $p = 0.006$, $d = 1.46$。

N400 和 P600

中央电极(Fz、Fz、Cz、Pz 和 Oz)平均电位值如表 3 所示。对情绪类型和 5 个电极点进行两因素重复测量方差分析，结果显示：在 300~500 ms 时窗，N400 的情绪类型主效应显著，$F(1, 18) = 21.89$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.549$，厌恶词诱发的波幅(2.94 μV)比中性词(1.22 μV)诱发的波幅更大；电极主效应显著 $F(4, 72) = 8.24$, $p = 0.001$, $\eta_p^2 = 0.314$；词汇类别和电极点的交互作用显著 $F(4, 72) = 20.21$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.529$。进一步简单效应分析发现，在 Cz、Pz 和 Oz 电极，厌恶词诱发的电位显著高于中性词，

表 2　电极位置及平均电位值(*M*-平均值、*SD*-标准差(μV))

电极位置	脑电成分的电位			
	P100		EPN	
	厌恶词(*M* ± *SD*)	中性词(*M* ± *SD*)	厌恶词(*M* ± *SD*)	中性词(*M* ± *SD*)
左(O1)	4.49 ± 3.44	4.11 ± 4.24	−3.72 ± 3.56	−3.57 ± 2.71
中(Oz)	2.52 ± 4.07	2.51 ± 4.51	−2.96 ± 3.75	−2.55 ± 2.96
右(O2)	3.71 ± 5.93	3.73 ± 6.18	−3.77 ± 4.57	−2.74 ± 3.93

表 3　中央电极平均电位值(*M*-平均值、*SD*-标准差(μV))

电极位置	分析时窗下的电位			
	300~500 ms		500~700 ms	
	厌恶词(*M* ± *SD*)	中性词(*M* ± *SD*)	厌恶词(*M* ± *SD*)	中性词(*M* ± *SD*)
FPz	−0.15 ± 2.61	0.52 ± 2.83	1.73 ± 2.15	1.31 ± 2.46
Fz	2.49 ± 2.89	0.50 ± 2.74	2.92 ± 2.41	0.76 ± 1.88
Cz	4.74 ± 4.40	1.72 ± 3.51	5.58 ± 4.19	2.80 ± 2.92
Pz	5.50 ± 4.54	2.83 ± 3.55	5.17 ± 4.58	3.09 ± 3.26
Oz	2.13 ± 2.76	0.53 ± 2.64	2.01 ± 2.67	1.09 ± 2.21

分别为, Cz: $t(18) = 5.21$, $p < 0.001$, $d = 2.46$; Pz: $t(18) = 6.00$, $p < 0.001$, $d = 2.83$; Oz: $t(18) = 6.05$, $p < 0.001$, $d = 2.85$。在 500~700 ms 分析窗口, P600 的词汇类别主效应亦显著, $F_{(1, 18)} = 15.53$, $p = 0.001$, $\eta_p^2 = 0.463$, 厌恶词诱发的波幅(3.48 μV)比中性词(1.81 μV)诱发的波幅更大; 电极主效应显著, $F(4, 72) = 10.31$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.364$; 词汇类别和电极点的交互作用显著, $F(4, 72) = 7.55$, $p = 0.004$, $\eta_p^2 = 0.296$。进一步简单效应分析发现, 在 Fz、Cz、Pz 和 Oz 电极, 厌恶词诱发的电位显著高于中性词, 其中, Fz: $t(18) = 4.49$, $p < 0.001$, $d = 2.12$; Cz: $t(18) = 4.56$, $p < 0.001$, $d = 2.15$; Pz: $t(18) = 3.28$, $p = 0.004$, $d = 1.55$; Oz: $t(18) = 2.23$, $p = 0.039$, $d = 1.05$。ERP 波形图和各分析时段差异波地形图相吻合, 如图 2 所示。

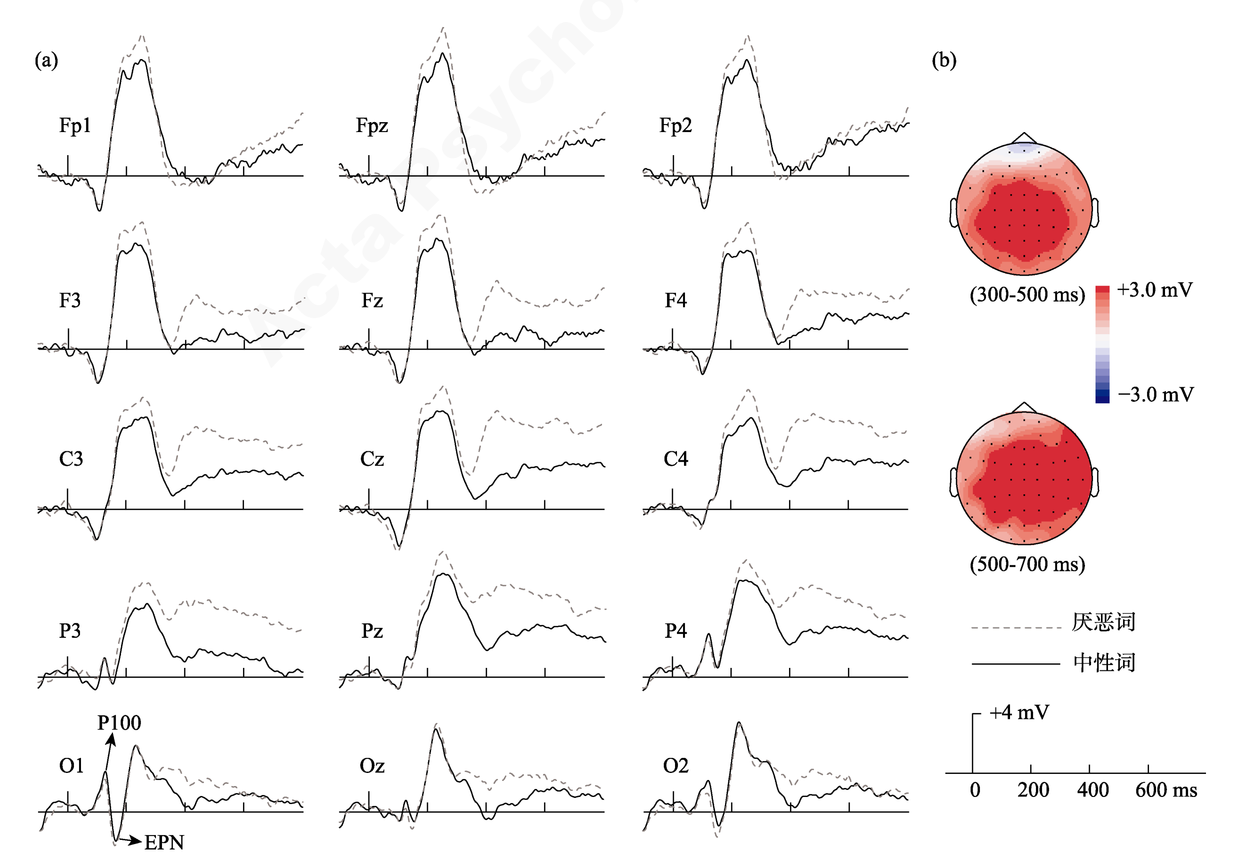


图 2　总的 ERP 波形图和中线电极差异波的地形图

溯源分析结果显示，P100、EPN 及 P600 成分在对应的时间窗内未获得稳定的源，只有 N400 成分，厌恶词和中性词总平均的 ERPs 在 380~420 ms 时间窗口出现差异波的最大激活点，位置为 Brodmann Area 10(BA10, $t(18) = 4.36$, $p = 0.05$)，即源位于左侧脑岛附近(如图 3)。

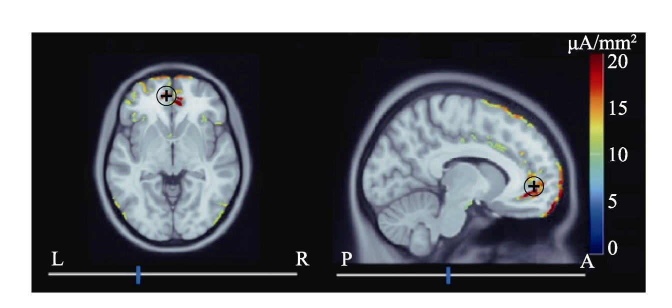


图 3　N400 成分差异波的溯源分析图

2.6　小结

P1 被认为是视觉刺激低水平知觉加工最早的内源性成分(Valt & Stürmer, 2017)，在成人中，P1 对空间注意敏感(Job et al., 2016)；也有少数研究者认为 P1 峰值对分类敏感(Dering et al., 2011; Groves et al., 2017)。词汇加工是较高级的认知过程，在早期阶段还无法区分出厌恶词和中性词，因此未在 P1 上出现厌恶词和中性词的差异。在枕区右侧的 O2 电极，厌恶词比中性词诱发更大的 EPN 波幅，可能反映了对情绪刺激的视觉注意，这有助于感觉的编码加工(Schacht & Sommer, 2009a)。ERP 的波形图显示，170 ms 左右厌恶词与中性词出现了分离，这可能暗示着对厌恶词的情绪加工发生在其语义形成之前，它引起的皮质反应只需要 170 ms。在 300~500 ms 阶段，包含着语义加工的过程，产生对词汇意义的理解，因此出现明显负走向的 N400 波。厌恶词和中性词差异波的溯源分析显示其源位于脑岛附近，这可能反映了厌恶对应的脑区被激活。同时，N400 差异波最大激活点时间窗口始于 380 ms，这在时间上提供了一个参考点，暗示在 N400 之前就出现了情绪效应。500~700 ms 时间窗口是一个显著的 P600 波，情绪词诱发的波幅比中性词诱发的波幅更大(An et al., 2003; Dietrich et al., 2000)。该阶段是对按键反应的抑制，被试根据实验要求只对交通词进行按键反应(即 Go 反应)，对厌恶词和中性词是抑制按键反应(即 No Go 反应)。厌恶词更大的波幅可能暗示着对消极情绪的抑制更困难，需要花费更多的心理资源。

3　实验 2：汉语厌恶情绪词加工的负性偏向

探究厌恶词加工的“负性偏向”。采用单因素两水平(词汇类别：厌恶词、中性词)实验设计，记录被试对厌恶词和中性词的反应时，并假设厌恶词的反应时快于中性词的反应时。

3.1　被试

随机选取 30 名中国大学生被试(母语为汉语，男女各半)，平均年龄为 22.37 ± 1.45 岁。所有被试都为右利手，视力正常或矫正视力正常，无色盲色弱，听觉正常，无精神病史。实验后给予被试一定的报酬。

3.2　实验材料

刺激材料同于实验 1，共 94 个词汇，包括 35 个厌恶词汇、35 个中性词汇和 24 个交通工具词汇。

3.3　实验程序

实验开始前先呈现指导语，之后屏幕中央呈现注视点“+”，持续时间为 500 ms，接着是 250 ms 的空屏，然后随机呈现 1 个词，持续时间为 1000 ms，该序列结束。ISI 为 2500 ms，之后进入下一个序列。词呈现后，要求被试对非交通工具词按键盘的“Y”键，对交通工具词则不按键。47 个 trials 构成 1 个 Block，共有 2 个 Block (同于实验 1)。在实验过程中，要求被试双眼与屏幕之间的距离大约为 80 cm，刺激材料的水平与垂直视角均小于 5°。并且要求被试在准确的基础上尽可能快做按键反应(非交通词)或不做按键反应(交通词)，一个 Block 结束休息 2~3 分钟。在正式实验之前，被试作 15 个 trial 的练习。

3.4　实验结果

由于非交通工具词与交通工具词容易区分，被试反应的正确率超过 99%，因此只分析反应时。对被试厌恶词和中性词的反应时做配对样本 t 检验，结果显示，厌恶词和中性词反应时差异显著，$t(29) = -7.08$, $p < 0.001$, $d = -2.63$，厌恶词的反应时(M = 501.49 ± 46.15 ms)显著快于中性词的反应时(M = 525.87 ± 49.77 ms)。

3.5　小结

实验 2 的任务是对非交通工具词汇和交通工具词汇进行判断，其中非交通词包括消极词和中性词。这里的消极词全为厌恶情绪词，避免了不同类情绪消极词间的影响。此外，实验时被试并不知道非交通词有厌恶词和中性词之分，即厌恶词和中性词处于内隐的水平，因此，实验更能反映被试对厌

恶词和中性词的真实加工，具有更可靠的效度。结果表明，厌恶词的消极情绪信息使得判断更快。

已有的行为研究也曾发现对消极词汇的加工存在注意偏向，消极词相比积极词和中性词更能引起注意和加工(周爱保 等, 2016)。尤其是情绪强烈的词(比如“厌恶”)，对其加工比中性词(如“汽车”)就更快更准(Kousta et al., 2009)。这反映了情绪词汇的情感意义，它是影响词汇加工的因素之一(Kissler et al., 2006)。也有不一致的情况，比如朱丽萍等人(2011)在研究情绪效价及强度对词汇加工的影响时，发现对消极词的反应时大于中性词的反应时。对词汇效价判断的反应时出现不一致的结果，除了实验范式的影响外，最大的可能是不同研究中积极情绪词和消极情绪词界定范畴差别较大造成的。本研究中消极情绪词都是厌恶类词，诱发的是同一类情绪，避免了不同类情绪词之间的影响。

4　讨论

脑电实验比较了厌恶词和对中性词加工的时间进程，结果发现在 170 ms 左右，厌恶词和中性词出现分离，并且厌恶词比中性词诱发更为负走向的 N400 波幅和更大的 P600 波幅，溯源分析仅发现 N400 定位在脑岛附近，且厌恶词和中性词 ERP 差异波最大激活点开始于 380 ms，暗示着这种情绪效应在深度语义加工(400 ms)之前。这些结果表明，汉语情绪词的加工进程支持神经重用假说；行为实验比较了被试对厌恶词和中性词的反应时，结果出现了词汇加工的“负性偏向”，产生情绪效应，即对情绪词反应更快。两个实验结果的数据都是基于内隐水平，因此具有更高的效度。

具体的，实验 1 的结果发现，在 170 ms 左右，厌恶词和中性词的脑电波出现分离，表明厌恶词汇和中性词汇存在差异，反映的是情绪效应，早期脑电成分 EPN 也佐证了这一点。EPN 的峰值出现在刺激呈现后大约 150~300 ms (Herbert et al., 2008; Kissler et al., 2007; Schacht & Sommer, 2009a, 2009b; Schupp et al., 2004)，它被认为是对情绪词视觉注意初始分配的反映(Herbert et al., 2008)；或者是某种标签机制，即对情绪刺激在早期知觉加工阶段给予优先(Schupp et al., 2004)。当前的结果显示，大约 160 ms 左右，厌恶词相比中性词诱发更大的枕区右侧 EPN，暗示着情绪唤起注意捕捉(Herbert et al., 2008)。已有的表音文字研究发现情绪词对 EPN 的影响主要在枕区两侧电极上(Herbert et al., 2008; Kissler et al., 2007; Ponz et al., 2013)，而本研究用表意的汉字作为实验材料，发现影响主要在枕区右侧电极上，与情绪图片加工的结果一致(Schupp et al., 2004)。也有研究报告词汇加工未出现 EPN 成分(Maratos et al., 2000; Schindler et al., 2019; 王振宏, 姚昭, 2012)，还有报告 EPN 成分时情绪词与中性词间差异不显著(Schacht & Sommer, 2009a)，这提示 EPN 成分可能会受到词汇的语言种类及实验设计的影响。在词汇加工的 400 ms，通常会出现 N400 波(Ponz et al., 2013; Schacht & Sommer, 2009b)，此时的皮质活动可能代表着基于分析的语义记忆初期阶段。这里结果显示为负走向的 N400，一些研究也有类似的报告(如 Grainger & Holcomb, 2009)。厌恶词的负走向 N400 波相比中性词更大，这种效应大约是从 380 ms 左右开始的，它提供了一个参考时间点，情绪效应可能是在 400 ms 之前获得的，反映了快速情绪分析不会晚于深层次的语义分析。500 ms 之后，可能反映的是进一步语义细化和上下文融合的额外认知过程(Fischler & Bradley, 2006)，以及对情绪刺激的持续关注(Schupp et al., 2004)。厌恶词相比中性词诱发更高的 P600，反映了对消极情绪词的抑制更困难，需要花费更多的心理资源(Pulvermuller, 2005)。

实验 2 的行为结果显示，对厌恶词的反应比中性词更快，则表明被试对消极情绪词加工相比中性词加工更有优势，消极情绪词会自动地吸引人的注意资源(Delplanque et al., 2005)。这可能是因为在人类的进化史中，需要对负性的事件做出更快的反应，以逃避危险，保护自身安全(罗跃嘉 等, 2006)。这使得对情绪词汇的加工如同面孔情绪图片和其他情绪图片的加工一样，直达情绪，不必在语义形成之后才产生。这为实验 1 的结果提供了一个佐证。

对照表意的汉字和表音的法语在情绪词加工的脑电位特征发现，两种文字以类似的模式支持了神经重用假说。此外，还发现以下不同之处：(1)在时间进程方面，对表意汉语情绪词的加工可能比表音西文情绪词的加工更早。如在厌恶词和中性词脑电波分离的起始时间上，法语单词大约在 200 ms，而汉字大约在 170 ms。这可能是因为表音文字对语音通达的更高依赖占据了系统的认知资源，使得其最后的情绪通达相比视觉上更接近图形的表意文字的情绪通达更慢。(2)在激活的脑区方面，汉字情绪词加工激活的脑区可能更广。如厌恶词和中性词的 N400 差异上，法语单词在左侧脑区(PO7、PO3

和 O1 电极), 而汉字在中后部双侧脑区(以中部 Cz、Pz 和 Oz 电极为代表)。汉字加工激活双侧脑区, 可能是由于汉字独特的视觉构形特点决定的(Perfetti et al., 2010)。这似乎暗示表意的象形文字更易征用情绪相关脑区, 相比表音文字的发现更能支持神经重用假说。

需要说明的几个问题：(1)选择厌恶词作为刺激, 主要基于两方面的原因, 一方面是厌恶情绪是原始情绪, 为其对应的脑区被更高级的语言功能所重用提供前提, 且情绪词全是厌恶词, 可以避免因情绪词汇界定范畴差别大而带来额外的影响。另一方面是负责厌恶情绪的脑区在前脑岛, 脑成像(Liu et al., 2015; Schienle et al., 2016; Watkins et al., 2015)、脑损伤(Borg et al., 2013, Buyukturkoglu et al., 2015), 以及人类大脑颅内记录(Krolak-Salmon et al., 2010; Tonoyan et al., 2017)的研究都一致发现, 前脑岛是厌恶加工的重要脑区。而它位于大脑皮层相对较浅的区域, 方便头皮电位的采集, 以及有效的进行溯源定位; (2) N400 是语义加工研究领域广泛出现的脑电成分, 它反映了语义信息整合到当前语境或从长时记忆中存取的难度(Kutas & Federmeier, 2011)。值得一提的是, 实验所选取的词汇相对被试而言是已经习得的刺激, 而对于初次学习的刺激是否会得到同样的结论有待进一步探索。与明确的中性词相比, 消极词既有概念意义, 又有情感内涵。消极的内涵可能与人们的日常生活和生存息息相关, 很容易唤起人的情感体验, 从而更容易从长时记忆中获得。因此, 消极词诱发的 N400 波幅比中性词更小(Herbert et al., 2008; Zhang et al., 2018)。我们的实验和 Ponz 等人(2013)的实验都发现情绪词比中性词的 N400 更大, 与之前研究结果的模式相反, 这可能是任务的差异造成了看似矛盾的模式。在 Go-No Go 任务中, 要求被试对交通工具词做 Go 反应, 而对非交通工具词(厌恶词和中性词)做 No Go 反应, 即抑制对厌恶词和中性词的反应, 这里不是词汇的语义整合, 而是语义抑制。由于厌恶词相比中性词具有更高的情绪效价, 因此厌恶词更难抑制, 在脑电上表现出厌恶词比中性词产生更大的 N400 波幅。(3)这里的“表意的汉语和表音的法语在词汇加工时脑电位特征对照”, 仅仅对两个脑电实验结果进行简单比较, 缺少数据的统计分析。因此, 表意汉语和表音西文在情绪词加工上的具体差异, 还有待进一步的探讨。

5 结论

尽管表意的汉字和表音的西文单词在书写结构、语音转换规则、语义通达及词汇加工的神经机制上存在明显的差异, 但我们的研究发现, 中国成人对汉语厌恶情绪词的加工模式和相同实验范式下法国成人对法语厌恶情绪词汇的加工模式是相似的, 都支持神经重用假说。这充分表明神经系统具有高度的灵活性, 可以根据现实情境需要而采用适当的方式对信息进行加工。并且, 在加工情绪信息时, 表意的汉字相比表音的西文单词启动的时间可能更早, 激活的脑区更广, 反映出图形相比语音更易激活情绪。

参 考 文 献

An, S. K., Lee, S. J., Lee, C. H., Cho, H. S., Lee, P. G., Lee, C. I., … Namkoong, K. (2003). Reduced P3 amplitudes by negative facial emotional photographs in schizophrenia. *Schizophrenia Research, 64*(2-3), 125–135.

Anderson, M. L. (2007). Evolution of cognitive function via redeployment of brain areas. *Neuroscientist, 13*(1), 13–21.

Anderson, M. L. (2010). Neural reuse: A fundamental organizational principle of the brain. *Behavioral and Brain Sciences, 33*(4), 245–266.

Bayer, M., Sommer, W., & Schacht, A. (2010). Reading emotional words within sentences: The impact of arousal and valence on event-related potentials. *International Journal of Psychophysiology, 78*(3), 299–307.

Borg, C., Bedoin, N., Peyron, R., Bogey, S., Laurent, B., & Thomas-Antérion, C. (2013). Impaired emotional processing in a patient with a left posterior insula-SII lesion. *Neurocase, 19*(6), 592–603.

Buyukturkoglu, K., Roettgers, H., Sommer, J., Rana, M., Dietzsch, L., Arikan, E. B., … Ruiz, S. (2015). Correction: Self-regulation of anterior insula with real-time fmri and its behavioral effects in obsessive-compulsive disorder: A feasibility study. *PLoS ONE, 10*(12), e0145027.

Chen, H. C., & Shu, H. (2001). Lexical activation during the recognition of Chinese characters: Evidence against early phonological activation. *Psychonomic Bulletin & Review, 8*(3), 511–518.

Citron, F. M. (2012). Neural correlates of written emotion word processing: A review of recent electrophysiological and hemodynamic neuroimaging studies. *Brain and Language, 122*(3), 211–226.

Dehaene, S., & Cohen, L. (2007). Cultural recycling of cortical maps. *Neuron, 56*(2), 384–398.

Dehaene, S., Cohen, L., Sigman, M., & Vinckier, F. (2005). The neural code for written words: A proposal. *Trends in Cognitive Sciences, 9*(7), 335–341.

Delplanque, S., Silvert, L., Hot, P., & Sequeira, H. (2005). Event-related p3a and p3b in response to unpredictable emotional stimuli. *Biological Psychology, 68*(2), 107–120.

Dering, B., Martin, C. D., Moro, S., Pegna, A. J., & Thierry, G. (2011). Face-sensitive processes one hundred milliseconds after picture onset. *Frontiers in Human Neuroscience, 5*(93), 93.

Dietrich, D. E., Emrich, H. M., Waller, C., Wieringa, B. M.,

Johannes, S., & Münte, T. F. (2000). Emotion/cognition-coupling in word recognition memory of depressive patients: An event-related potential study. *Psychiatry Research, 96*(1), 15–29.
Fischler, I., & Bradley, M. (2006). Event-related potential studies of language and emotion: Words, phrases, and task effects. *Progress in Brain Research, 156*, 185–203.
Grainger, J., & Holcomb, P. J. (2009). Watching the word go by: On the time-course of component processes in visual word recognition. *Language & Linguistics Compass, 3*(1), 128–156.
Groves, K., Kennett, S., & Gillmeister, H. (2017). Evidence for ERP biomarkers of eating disorder symptoms in women. *Biological Psychology, 123*, 205–219.
Herbert, C., Junghofer, M., & Kissler, J. (2008). Event related potentials to emotional adjectives during reading. *Psychophysiology, 45*(3), 487–498.
Isenberg, N., Silbersweig, D., Engelien, A., Emmerich, S., Malavade, K., Beattie, B., … Stern, E. (1999). Linguistic threat activates the human amygdala. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 96*(18), 10456–10459.
Job, X. E., de Fockert, J. W., & van Velzen, J. (2016). Action preparation modulates sensory perception in unseen personal space: An electrophysiological investigation. *Neuropsychologia, 89*, 445–452.
Kanske, P., & Kotz, S. A. (2007). Concreteness in emotional words: ERP evidence from a hemifield study. *Brain Research, 1148*, 138–148.
Kissler, J., Assadollahi, R., & Herbert, C. (2006). Emotional and semantic networks in visual word processing: Insights from ERP studies. *Progress in Brain Research, 156*, 147–183.
Kissler, J., Herbert, C., Peyk, P., & Junghofer, M. (2007). Buzzwords: Early cortical responses to emotional words during reading. *Psychological Science, 18*(6), 475–480.
Kousta, S. T., Vinson, D. P., & Vigliocco, G. (2009). Emotion words, regardless of polarity, have a processing advantage over neutral words. *Cognition, 112*(3), 473–481.
Krolak-Salmon, P., Hénaff, M.-A., Isnard, J., Tallon-Baudry, C., Guénot, M., Vighetto, A., … Mauguière, F. (2010). An attention modulated response to disgust in human ventral anterior insula. *Annals of Neurology, 53*(4), 446–453.
Kutas, M., & Federmeier, K. D. (2011). Thirty years and counting: Finding meaning in the N400 component of the event-related brain potential (ERP). *Annual Review of Psychology, 62*, 621–647.
Li, Y. T., Li, Q., & Guo, C. Y. (2010). Differences of emotional words in implicit and explicit memory tests: An ERP study. *Acta Psychologica Sinica, 42*(7), 735–742.
[李月婷, 李琦, 郭春彦. (2010). 内隐和外显记忆测验中情绪词差异的 ERP 研究. *心理学报, 42*(7), 735–742.]
Liu, H., Hu, Z., Peng, D., Yang, Y., & Li, K. (2010). Common and segregated neural substrates for automatic conceptual and affective priming as revealed by event-related functional magnetic resonance imaging. *Brain & Language, 112*(2), 121–128.
Liu, Y., Lin, W., Xu, P., Zhang, D., & Luo, Y. (2015). Neural basis of disgust perception in racial prejudice. *Human Brain Mapping, 36*(12), 5275–5286.
Luo, Y., J., Huang, Y., X., Li, X., Y., & Li, X., B. (2006). Effects of emotion on cognitive processing: Series of Event-Related Potentials study. *Advances in Psychological Science, 14*(4), 505–510.
[罗跃嘉, 黄宇霞, 李新影, 李雪冰. (2006). 情绪对认知加工的影响: 事件相关脑电位系列研究. *心理科学进展, 14*(4), 505–510.]
Luo, Y., Shen, W., Zhang, Y., Feng, T. Y., Huang, H., & Li, H. (2013). Core disgust and moral disgust are related to distinct spatiotemporal patterns of neural processing: An event-related potential study. *Biological Psychology, 94*(2), 242–248.
Maratos, E. J., Allan, K., & Rugg, M. D. (2000). Recognition memory for emotionally negative and neutral words: An ERP study. *Neuropsychologia, 38*(11), 1452–1465.
Meng, X., Jian, J., Shu, H., Tian, X., & Zhou, X.. (2008). ERP correlates of the development of orthographical and phonological processing during Chinese sentence reading. *Brain Research, 1219*, 91–102.
Niedenthal, P. M. (2007). Embodying emotion. *Science, 316*(5827), 1002–1005.
Perfetti, C. A., Nelson, J., Liu, Y., Fiez, J., & Tan, L. H. (2010). The neural basis of reading: Universals and writing system variations. In: P. L. Cornelissen, P. C. Hansen, L. M. Kringelbach, & A. K. Pugh (Eds.), *The neural basis of reading* (pp.147–172). New York: Oxford University Press.
Ponz, A., Montant, M., Liegeois-Chauvel, C., Silva, C., Braun, M., Jacobs, A. M., & Ziegler, J. C. (2013). Emotion processing in words: A test of the neural re-use hypothesis using surface and intracranial EEG. *Social Cognitive and Affective Neuroscience, 9*(5), 619–627.
Pulvermüller, F. (2005). Brain mechanisms linking language and action. *Nature Reviews Neuroscience, 6*(7), 576–582.
Schacht, A., & Sommer, W. (2009a). Emotions in word and face processing: Early and late cortical responses. *Brain & Cognition, 69*(3), 538–550.
Schacht, A., & Sommer, W. (2009b). Time course and task dependence of emotion effects in word processing. *Cognitive Affective & Behavioral Neuroscience, 9*(1), 28–43.
Schienle, A., Übel, S., & Wabnegger, A. (2016). When opposites lead to the same: A direct comparison of explicit and implicit disgust regulation via fmri. *Social Cognitive & Affective Neuroscience*, *12*(3), 445–451.
Schindler, S., Vormbrock, R., & Kissler, J. (2019). Emotion in context : How sender predictability and identity affect processing of words as imminent personality feedback. *Frontiers in Psychology, 10*(2), 1–16.
Schupp, H. T., Junghöfer, M., Weike, A. I., & Hamm, A. O. (2004). The selective processing of briefly presented affective pictures: An ERP analysis. *Psychophysiology, 41*(3), 441–449.
Tadel, F., Baillet, S., Mosher, J. C., Pantazis, D., & Leahy, R. M. (2011). Brainstorm: A user-friendly application for MEG/EEG analysis. *Computational Intelligence and Neuroscience, 2011*(1687-5265), 879716.
Tonoyan, Y., Chanwimalueang, T., Mandic, D. P., & van Hulle, M. M. (2017). Discrimination of emotional states from scalp-and intracranial EEG using multiscale Rényi entropy. *PLoS ONE, 12*(11), e0186916.
Valt, C., & Stürmer, B. (2018). Processing genuine and nongenuine smiles as social response to personal performance: An event-related brain potential (ERP) study. *Emotion, 18*(4), 551–562.
Wang, Y. N., Zhou, L. M., & Luo, Y. J. (2008). The pilot establishment and evaluation of Chinese affective words system. *Chinese Mental Health Journal, 22*(8), 608–612.
[王一牛, 周立明, 罗跃嘉. (2008). 汉语情感词系统的初步编制及评定. *中国心理卫生杂志, 22*(8), 608–612.]
Wang, Z., H., & Yao Z. (2012). Concreteness effects of

emotional noun words: Evidences from ERP. *Acta Psychologica Sinica, 44*(2), 154–165.
[王振宏, 姚昭. (2012). 情绪名词的具体性效应: 来自 ERP 的证据. *心理学报, 44*(2), 154–165.]
Watkins, T. J., Di, I. C., Olatunji, B. O., Benningfield, M. M., Blackford, J. U., Dietrich, M. S., … Cowan, R. L. (2015). Disgust proneness and associated neural substrates in obesity. *Social Cognitive & Affective Neuroscience, 11*(3), 458–465.
Yao, Z., Yu, D. S., Wang, L. L. W., Zhu, X. R., Guo, J. J., & Wang, Z. H. (2016). Effects of valence and arousal on emotional word processing are modulated by concreteness: Behavioral and ERP evidence from a lexical decision task. *International Journal of Psychophysiology, 100*, 231–242.
Yi, S. N., He, W. Q., Zhan, L., Qi, Z. Y., Zhu, C. L., Luo, W. B., & Li, H. (2015). Emotional noun processing: An ERP study with rapid serial visual presentation. *PLoS ONE, 10*(3), e0118924.
Zhang, D. D., He, W. Q., Wang, T., Luo, W. B., Zhu, X. R., Gu, R. L., … Luo, Y. J. (2014). Three stages of emotional word processing: An ERP study with rapid serial visual presentation. *Social Cognitive and Affective Neuroscience, 9*(12), 1897–1903.
Zhang, M., Ge, Y., Kang, C., Guo, T., & Peng, D. (2018). ERP evidence for the contribution of meaning complexity underlying emotional word processing. *Journal of Neurolinguistics, 45*, 110–118.
Zhao, W. S., Chen, L., Zhou, C. X., & Luo, W. B. (2018). Neural correlates of emotion processing in word detection task. *Frontiers in Psychology, 9*, 832.
Zhou, A., Zhang, R., Xia, R., Li, S., & Ma, X. (2016). The perspective modulation in the early processing of self-reflective. *Journal of Psychological Science, 39*(2), 384–391.
[周爱保, 张荣华, 夏瑞雪, 李世峰, 马小凤. (2016). 视角在自我评价早期阶段的调节作用. *心理科学, 39*(2), 384–391.]
Zhou, X., & Marslen-Wilson, W. (1999). Phonology, orthography, and semantic activation in reading Chinese. *Journal of Memory and Language, 41*(4), 579–606.
Zhou, W., Shu, H., Miller, K., & Yan, M. (2018). Reliance on orthography and phonology in reading of Chinese: A developmental study. *Journal of Research in Reading, 41*(2), 370–391.
Zhu, L. P., Yuan, J. J., & Li, H. (2011). The influence of emotional valence and intensity on vocabulary processing. *Journal of Psychological Science, 34*(2), 284–288.
[朱丽萍, 袁加锦, 李红. (2011). 情绪效价及强度对词汇加工的影响. *心理科学, 34*(2), 284–288.]

附录：实验所用的词汇材料

厌恶词汇		中性词汇		交通工具词汇	
粪肉	尿味	窗户	个体	火车	帆船
粪便	狗屎	橡皮	衣柜	汽车	轮船
口臭	粪桶	筷子	护照	动车	游船
臊臭	便池	副刊	盒子	轿车	客船
臭气	蛆虫	邮编	文件	卡车	渔船
大便	粪土	地幔	事物	高铁	游艇
蝇蛆	粪堆	邮票	路灯	跑车	
粪坑	痰盂	影子	池塘	游轮	
狐臭	汗臭	纽扣	空调	邮轮	
臭味	鸟屎	桌子	沙发	客轮	
臭屁	鼻屎	椅子	踏板	机车	
屎尿	粪筐	磁石	剪子	客车	
粪池	粘液	茶瓶	墙壁	电车	
粪水	便盆	链条	电视	飞机	
恶臭	苍蝇	地板	胶卷	客机	
尿盆	腐烂	秘书	键盘	地铁	
肉虫	腐肉	地图	波浪	巴士	
脚臭		麻雀		摩托	

Evidence for neural re-use hypothesis from the processing of Chinese emotional words

SUN Tianyi[1], HAO Xiaoxiao[2], HE Anming[1], WANG Caiyu[1], XU Yuanli[1], GUO Chunyan[3], ZHOU Wei[3]

([1] *School of Education Science, Xinyang Normal University, Xinyang* 464000, *China*)

([2] *Zhengzhou Institute of Technology, Zhengzhou,* 451100, *China*)

([3] *College of Psychology, Capital Normal University, Beijing* 100048, *China*)

Abstract

The two main theoretical views of emotional word processing are conflicting. According to standard psycholinguistics, emotions are elicited within the reading network itself after semantic activation. However, neural reuse theories suggest that emotional words can be directly processed by the brain region that is activated in emotional information processing, similar to how emotional images, smell, and faces are processed. This means that emotional effects to words occur before semantics, which benefits human adaptability. The processing of emotional words in phonetic characters supports the view of neural reuse, but the processing of emotional words in ideographic texts has no evidence. An event-related potential experiment and a behavioral experiment were conducted to explore the processing of emotional information while reading at an implicit level.

A total of 262 Chinese words were selected from the Chinese Affective Stimulus System. Among these words, 128 were disgust-related words, 100 were neutral words, and 34 were transportation-related words. We then selected 35 neutral words, 35 disgust-related words, and 24 transportation-related words that were matched on the basis of valence and arousal. Twenty Chinese college students (10 female) participated in the EEG experiment. They were asked to press the response button using their right index finger when the words they read were related to transportation (Go trials). Otherwise, they should not respond (No-go trials). Another 30 healthy individuals (15 female) participated in the behavioral experiment. However, they were asked to silently read the presented words and press the response button using their right index finger only when a given word was not related to transportation (Go trials). Otherwise, they should not respond (No-go trials).

The EEG experiment showed that differences between disgust and neutral words appeared as early as 170 ms after the onset of stimulus. No significant effect of emotion was found on P100 (the early ERP component). However, a significant main effect of emotion was found for the early posterior negativity (EPN). Disgust-related words evoked a larger right EPN than neutral words did. A negative going wave reflecting the processing of meaning was found at approximately 400 ms, and source localization indicated a cortical generator of emotion effect near the left anterior insula. The inhibition response to disgust-related words generated greater late positive component than the response to neutral words. Specifically, disgust-related words evoked a much larger P600 amplitude compared with neutral words. Behavioral experiment results showed a significant difference between the reaction time to disgust-related words and neutral words. Participants responded faster to disgust-related words than to neutral words.

Results indicate that negative emotional words have an advantage in processing over neutral words. Emotional response to negative emotional words occurs before the processing of their semantics. The processing of negative emotional words supports theory of neural reuse. This finding shows that the nervous system is highly flexible and can process information in an appropriate manner according to the needs in an actual situation. Moreover, when processing emotional information, ideographic Chinese emotional words start earlier and activate a wider range of brain regions than phonetic Western emotional words.

Key words words, disgust, neural re-use hypothesis, ERP